

Ю. Петрина, докт. техн. наук; Р. Яким, канд. техн. наук; Т. Пасинович

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

## **ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЧИСТОТИ ОБРОБКИ ОТВОРІВ ДЛЯ ПОСАДКИ ЗУБКІВ У ШАРОШЦІ БУРОВОГО ДОЛОТА**

*Встановлено вплив технологічних чинників на розбивку і чистоту обробки отворів у шарошці бурового долота для посадки зубків. Відносно стабільна шорсткість і мінімальна розбивка отворів забезпечується використанням прогресивного різального інструменту. Порівняльні експерименти показали перспективність заміни розверток з твердосплавними пластинами на монолітні твердосплави.*

*Ключові слова: розбивка, шарошка, зубок, отвір, розвертка, шорсткість.*

**Y. Petruna, P. Yakym, T. Pasynovuch**

## **THE INFLUENCE OF HOLES TREATMENT EXACTITUDE AND CLEANNESS FOR TEETH FIT IN A ROCK BIT CONE**

*It was determined the influence of technological factors on lay-out and cleanness of holes treatment in a rock bit cone for teeth fit. Relatively stable roughness and minimum lay-out of holes is provided by progressive cutting tools use. Comparative experiments showed that it was perspective to use monolithic reamers made of hard-facing alloy instead of ones with plates made of hard-facing alloy.*

*Key words: lay-out, cone, tooth, hole, reamer, roughness.*

Стійкість до випадання зубків шарошкового бурового долота є однією з основних якостей сучасного долота. Тому питання впливу технологічних чинників на забезпечення надійності з'єднання „зубок-шарошка” є актуальним в нафтогазовому машинобудуванні. І хоч рівень технології виготовлення шарошкових доліт з вставними зубками з року в рік вдосконалюється, проте проблема надійного кріплення зубка в тілі шарошки до кінця не є вирішеною.

Згідно з базовим технологічним процесом, сталеву заготовку піддають після гарячого штампування високому відпуску. Після обточування проводять цементацію з наступним високим відпуском. Далі свердлять отвори під зубок і проводять гартування та низький відпуск. Після зенкерування проводять розвірчування, точність якого, в більшості, визначає надійність з'єднання „шарошка-зубок”.

Дослідженню впливу параметрів технологічного процесу формування отворів під зубки присвячено роботи [1, 2].

В лабораторних умовах авторами [1] була досліджена можливість підвищення точності виготовлення отворів під зубок введенням додаткового напівчистового розвірчування. Аналіз результатів показав, що це в незначній мірі збільшує точність виготовлення отвору. Причиною тому є те, що розвірчування виконували інструментом із значно зменшеною західною частиною. Збільшується биття інструменту відносно осі отвору, що приводить до розкидання остаточних геометричних розмірів отвору. Крім цього, центрування інструменту проходило по осі отвору при проходженні ним цементованого шару, що збільшує розсіювання розмірів у верхньому перерізі отвору.

В [2] показано, що наявність цементованого шару сприяє зменшенню конусності та розбивки отворів під зубок. Проте питання впливу режимів обробки на якість отворів не розглядали.

Як показано в [3], найвищу міцність з'єднання „зубок-шарошка” забезпечує дотримання геометричних параметрів отворів у шарошці. Проте, з огляду на відсутність даних про точність формування отворів в шарошці, неможливо точно прогнозувати надійність з'єднання „шарошка-зубок”. Тому з метою заповнення вказаної прогалини було поставлено завдання дослідити вплив технологічних чинників

на розбивку і шорсткість обробки отворів в шарощі бурового долота для посадки зубків.

Для досягнення результатів поставленої задачі проводили порівняльні експерименти з обробки отворів в шарощі згідно з базовим технологічним процесом, використовуючи існуючий різальний інструмент та експериментальний.

Дослідження проводили на шарощах доліт 244,5 ОК-ПВ-Д26У, використовуючи верстат MCV 500. Допуск обробки отворів на сторону становив 0,3 мм, частота обертання інструменту  $n = 700\text{--}1000$  об/хв., подача  $s = 0,1$  мм/об. Випробовуванню підлягали розвертки Ø12,87 з напаяними пластинами із сплаву ВК60М, які використовуються в базовому технологічному процесі, та експериментальні монолітні розвертки. Шорсткість поверхні досліджуваних зразків перевіряли за допомогою профілографа-профілометра моделі 201 згідно з методикою, описаною в [4]. Математична обробка статистичних даних та побудова моделей проводилась за допомогою програмного пакету MathCAD фірми MathSoft.

Дослідження складались з двох етапів. Спочатку встановлювали, чи впливає зміна швидкості різання  $V$  в межах від 28,574 до 40,82 м/хв на величину розбивки отворів при обробці досліджуваними розвертками. Потім шукали статистичний зв'язок між розбивкою і шорсткістю поверхні отворів.

Як відомо, розбивка отвору  $\Delta$  є різницею між діаметром отвору, що обробляється, і діаметром розвертки. Оскільки величина  $\Delta$  є випадковою і піддається нормальному розподілу, то науково обґрунтованим методом дослідження є статистичний метод перевірки висунутих гіпотез.

Кожен дослід повторювали 5 разів. Розглядали як випадкову вибірку об'єму  $n = 4$  з нормальної сукупності і для висновків про вплив того чи іншого чинника здійснювали оцінку статистичних характеристик вибірок методами математичної статистики. Результати дослідів, а також обчислення середнього арифметичного  $\bar{x}_i$  і дисперсій  $s_i^2$  (1) по кожній серії дослідів для кожного значення  $V$  наведені в таблицях 1, 2.

$$s_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2. \quad (1)$$

Таблиця 1 - Результати дослідів з дослідження впливу швидкості різання  $V$  на величину розбивки отвору при обробці розвертками з напаяними пластинами

№ п/п	Швидкість різання $V$ , м/хв.	Отримані значення $x_i$ , мкм					$\bar{x}_i$	$s_i^2$
		1	2	3	4	5		
1	28,574	28	29	34	33	30	30,8	5,85
2	30,615	33	35	34	36	31	33,8	3,7
3	32,656	32	35	36	34	39	35,2	6,7
4	34,697	34	36	38	34	37	35,8	3,2
5	36,738	38	39	36	36	38	37,4	1,8
6	38,779	37	39	43	42	38	39,8	6,7
7	40,82	43	42	45	40	47	43,4	7,3

Таблиця 2 - Результати дослідів з дослідження впливу швидкості різання  $V$  на величину розбивки отвору при обробці експериментальними розвертками

№ п/п	Швидкість різання $V$ , м/хв.	Отримані значення $x_i$ , мкм					$\bar{x}_i$	$s_i^2$
		1	2	3	4	5		

1	28,574	10	9	5	6	8	7,6	4,3
2	30,615	12	7	11	13	9	10,4	5,8
3	32,656	13	17	13	14	11	13,6	4,8
4	34,697	14	20	15	14	17	16	6,5
5	36,738	16	22	18	21	18	19	6
6	38,779	19	24	25	23	21	22,4	5,8
7	40,82	24	28	23	25	27	25,4	4,3

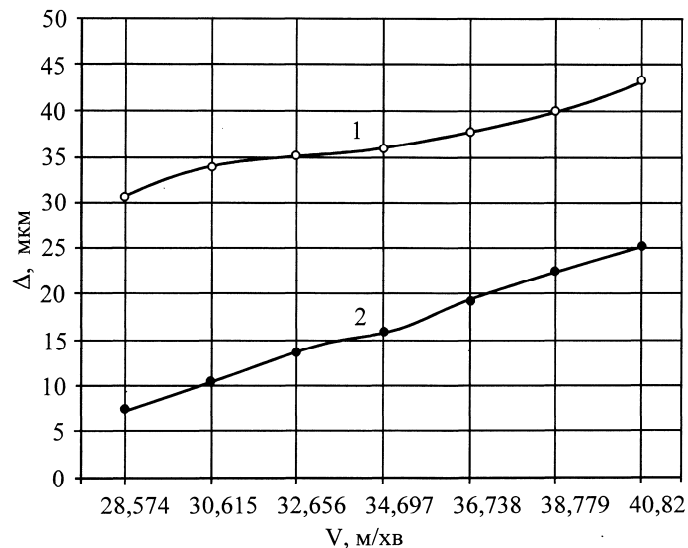


Рисунок 1 – Залежності  $\Delta = f(V)$  для:  
 1 – обробки розвертками з напаяними пластинами;  
 2 – обробки експериментальними розвертками

У відповідності до загально прийнятих методик дослідження [5], графіки залежностей  $\Delta$  від  $V$  будуть мати вигляд, представлений на рис. 1.

На основі рис. 1 можна зробити неправильний висновок про прогресуюче збільшення розбивки з ростом швидкості обробки в досліджуваних межах і про суттєвий вплив швидкості різання на розбивку в досліджуваному діапазоні.

На основі аналізу фізичної сутності явища розбивки можна вважати, що основною причиною розбивки отворів є радіальна складова сили різання  $P_v$  [6], під впливом якої відбувається пружне і пластичне деформування матеріалу стінок отвору.

Внаслідок коливання величини сили  $P_v$  і через нерівномірність припуску на обробку та нерівномірної твердості матеріалу шарошки відбувається коливання значень величини розбивки. Зміна швидкості різання  $V$  у досліджуваних межах не може суттєво впливати на величину сили  $P_v$ , тому і величина розбивки не повинна суттєво змінюватися при зміні швидкості різання в досліджуваних межах. З метою перевірки даного твердження користувались статистичними методами.

Перш за все, необхідно встановити, чи вибірки в експериментах є випадковими. Оскільки дослідження проводили на налагодженому верстаті, то забезпечувалася плавна і повільна зміна середнього при постійному значенні характеристики розсіювання розмірів  $\sigma$ . За таких умов найпростіше використати спосіб послідовних різниць. Отже, згідно з отриманими значеннями  $x_i$  вибірки, що розташовані в послідовності  $x_1, x_2 \dots x_n$ , утвориться  $n - 1$  різниць між сусідніми членами:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= x_2 - x_1; \\
 a_2 &= x_3 - x_2; \\
 a_3 &= x_4 - x_3; \\
 a_{n-1} &= x_n - x_{n-1}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Тепер, якщо вибірка взята з генеральної сукупності з параметрами  $\bar{x}_0$  та  $\sigma_0^2$ , то математичне очікування  $a_i^2$  виразиться

$$Ma_i^2 = 2\sigma^2. \quad (3)$$

Тоді оцінка для  $\sigma_0^2$  за даними вибірки запишеться:

$$c^2 = \frac{\sum a_i^2}{2(n-1)}. \quad (4)$$

З другого боку, для звичайної оцінки  $\sigma_0^2$  є вираз (1). Отже, критерієм оцінки слугує відношення

$$\tau = \frac{c^2}{s^2}. \quad (5)$$

Результати обчислень  $c^2$ ,  $s_i^2$ ,  $\tau$  зведені в таблиці 3, 4.

Таблиця 3 - Результати обчислень  $c^2$ ,  $s_i^2$ ,  $\tau$  для розвертки з твердосплавними пластинами

v, м/хв	28,574	30,615	32,656	34,697	36,738	38,779	40,82
$c^2$	4,5	4,25	4,875	4,125	1,75	7,125	4,5
$s_i^2$	5,85	3,7	6,7	3,2	1,8	6,7	7,3
$\tau$	0,769	1,149	0,728	1,289	0,972	1,063	0,616
$\tau_{0,05}$	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41

Таблиця 4 - Результати обчислень  $c^2$ ,  $s_i^2$ ,  $\tau$  для експериментальної розвертки

v, м/хв	28,574	30,615	32,656	34,697	36,738	38,779	40,82
$c^2$	2,75	7,625	5,25	8,875	8,875	4,25	6,125
$s_i^2$	4,3	5,6	4,8	6,5	6	5,8	4,3
$\tau$	0,64	1,362	1,09	1,365	1,479	0,733	1,424
$\tau_{0,05}$	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41

Відповідно до значень допустимих нижніх границь  $\tau$  для рівня значимості 5% [7] гіпотеза випадковості вибірки є вірною.

Тепер здійснимо оцінку розходжень вибірових дисперсій  $s_i^2$ . Для цього скористуємось критерієм  $T$ .

$$T_n = \frac{s_{max}^2}{s_{min}^2}. \quad (6)$$

Отже, для досліджень розверток з твердосплавними пластинами  $T_{n_1} = 4,056$ , для експериментальних розверток  $T_{n_2} = 1,512$ .

Оскільки при  $\kappa_1 = \kappa_2 = n - 1 = 4$  для довірчої імовірності  $P = 0,05$  [7]  $T = 6,39$ , то  $T_n < T$ , що вказує на правильність гіпотези випадкового розходження вибірових дисперсій.

Тепер можна перевірити гіпотезу однорідності вибірових середніх, тобто встановити, чи є досліджуване розходження вибірових середніх в дослідях з різними значеннями швидкості випадковим, чи це пояснюється впливом  $V$ . Для цього

використаємо критерій Стюдента, тобто зробимо оцінку розходження суміжних значень вибірових середніх

$$t_i = \frac{(\bar{x}_i - \bar{x}_{i+1})}{\sqrt{n(s_i^2 + s_{i+1}^2)}} \sqrt{\frac{n^2(2n-2)}{2n}}. \quad (7)$$

Результати обчислень  $t_i$  представлено в таблицях 5, 6. Згідно з імовірністю  $P(|t| \geq t_1)$ , за розподілом Стюдента при  $\kappa_1 = n_1 + n_2 - 2 = 8$  [7] кожному значенню  $t_i$  відповідає імовірність  $P_i$  (таблиці 5, 6). Отримані імовірності не є малими, вони більші довірчого рівня  $P = 0,05$ ; тому можна вважати, що отримані значення дослідів випадково відрізняються від табличних, і наша гіпотеза про випадкове розходження вибірових середніх (чи їх однорідності) справджується. Іншими словами, вибірки, що порівнюються, належать одній і тій самій генеральній сукупності.

Таблиця 5 - Результати обчислень  $t_i$  і  $P_i$  для розвертки з твердосплавними пластинами

$t_i$	1,942	0,868	0,381	1,431	1,646	1,924
$P_i$	0,094	0,394	0,700	0,199	0,148	0,094

Таблиця 6 - Результати обчислень  $t_i$  і  $P_i$  для експериментальної розвертки

$t_i$	1,762	1,966	1,428	1,697	1,939	1,888
$P_i$	0,110	0,081	0,199	0,128	0,081	0,110

Таким чином, перевірка гіпотез однорідності показала, що розходження між отриманими значеннями дисперсій і середніх в дослідях з різними значеннями швидкості різання  $V$  є випадковими. Отже, наше припущення, що швидкість різання в досліджуваних межах суттєво не впливає на величину розбивки отворів при розвірчуванні отворів під посадку зубка, підтверджується. Практично можна вважати, що при досліджуваних режимах різання середнє значення розбивки отворів при використанні розвертки з твердосплавними пластинами буде рівне  $x_{o1} = 36,6$  мкм, а при використанні експериментальної розвертки  $x_{o2} = 16,343$  мкм. При цьому розсіювання значень розбивки отворів буде характеризуватись стандартом

$$\sigma_o = \frac{\bar{s}}{H_n}, \quad (8)$$

де  $H_n$  – коефіцієнт, що залежить від об'єму вибірки  $n = 7$ , і згідно [7]  $H_n = 0,88$ .

Отже,  $\bar{s}_I = 2,244$ ,  $\bar{s}_{II} = 2,315$ , тоді  $\sigma_{o1} = 2,55$  та  $\sigma_{o2} = 2,631$ .

Тепер істинне значення розбивки  $\Delta_1$  при використанні розвертки з твердосплавними пластинами буде знаходитись у межах  $\pm 3\sigma_{o1} = \pm 7,65$ , тобто

$$\begin{aligned} x_{o1} - 3\sigma_{o1} &< \Delta_1 < x_{o1} + 3\sigma_{o1}; \\ 36,6 - 7,65 &< \Delta_1 < 36,6 + 7,65; \\ 28,95 &< \Delta_1 < 44,25. \end{aligned} \quad (9)$$

При використанні експериментальної монолітної розвертки істинне значення розбивки  $\Delta_2$  буде знаходитись у межах  $\pm 3\sigma_{o2} = \pm 7,893$ , тобто

$$\begin{aligned} x_{o2} - 3\sigma_{o2} &< \Delta_2 < x_{o2} + 3\sigma_{o2}; \\ 16,343 - 7,893 &< \Delta_2 < 16,343 + 7,893; \\ 8,45 &< \Delta_2 < 24,236. \end{aligned} \quad (10)$$

Отримані дані експериментальних досліджень засвідчують перспективність використання монолітних твердосплавних розверток, які у порівнянні з твердосплавними пластинами мають нижчі показники розбивки отворів у 3,4 і у 1,8 разів відповідно нижньої і верхньої межі відхилень.

В досліджуваних межах зміни режимів різання змінюється також чистота оброблених поверхонь. Помічено, що зі збільшенням швидкості різання погіршується чистота поверхні. Тому було поставлено завдання виявити статистичний зв'язок між розбивкою і мікронерівністю поверхні.

Для встановлення наявності, форми і сили зв'язку між величиною розбивки  $\Delta$  і параметром шорсткості  $R_a$  були складені кореляційні таблиці для двох типів досліджуваних розверток при розвірчуванні 150 отворів (табл. 7, 8).

Таблиця 7 - Вплив величини розбивки отвору на чистоту обробки при розвірчуванні 150 отворів розверткою з твердосплавними пластинами

		$x = \Delta$ , мкм											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	$m_y$
$y = R_a$ , мкм.	1,6	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1
	1,8	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	1
	2,0	—	—	1	1	—	1	1	—	—	—	—	4
	2,2	—	1	—	2	1	3	5	—	—	—	—	12
	2,4	—	—	—	1	2	5	9	9	14	—	—	40
	2,6	—	—	—	—	3	2	7	14	12	12	—	50
	2,8	—	—	—	—	—	—	—	2	1	8	13	24
	3,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	11	14
	3,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	4
$n_x$			1	2	5	6	11	22	25	27	23	28	150
$\overline{y_x}$			2,2	1,8	2,21	2,52	2,38	2,48	2,62	2,58	2,81	3,12	

Таблиця 8 - Вплив величини розбивки отвору на чистоту обробки при розвірчуванні 150 отворів експериментальною розверткою

		$x = \Delta$ , мкм.							
		0	5	10	15	20	25	30	$m_y$
$y = R_a$ , мкм.	1,6	—	1	2	2	—	—	—	5
	1,8	—	2	8	11	10	11	3	45
	2,0	—	—	9	12	13	7	10	51
	2,2	—	—	—	10	14	10	13	47
	2,4	—	—	—	—	—	—	2	2
$n_x$			3	19	35	37	28	28	150
$\overline{y_x}$			1,67	1,85	1,92	1,99	2,0	2,15	

Кожен стовпець кореляційних таблиць відповідає тому чи іншому значенню  $x$ , є рядом цього  $x$ , а кожна лінійка значень  $y$  – рядами  $y$ .

Для полегшення розрахунків коефіцієнта кореляції склали допоміжні таблиці 9, 10, які заповнювались наступним чином. В графі 1, 2, 5, 6 вписували відповідні значення  $y$  і  $x$  з таблиць 7, 8. Графа 3 містить результати добутку відповідних значень  $y$  і  $m_y$ ; графа 7 – результати добутку графі 5 і 6; графа 4 – добуток графі 3 на графу 1; графа 8 – добуток графі 7 на графу 5. графа 9 – сума по рядах  $y$  заповнюється на основі табл. 7, 8 наступним чином: частоту  $n_{xy}$  для кожного рядуу  $y$  перемножують на відповідні значення  $x$  і отримані добутки сумують. Аналогічно заповнюється графа 11 – сума по рядах  $x$ .

Таблиця 9 - Таблиця обчислення коефіцієнта кореляції для обробки розверткою з твердосплавними пластинами

$y$	$m_y$	$m_y \cdot y$	$m_y \cdot y^2$	$x$	$n_x$	$n_x \cdot x$	$n_x \cdot x^2$	Сума по рядках $y$	$\sum_y n_{xy} \cdot y_x$	Сума по рядках $x$	$\sum_x n_{xy} \cdot x_y$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1,6	1	1,6	2,56	5	1	5	25	10	16	2,2	11
1,8	1	1,8	3,24	10	2	20	200	15	27	3,6	36
2,0	4	8	16	15	5	75	$1,125 \cdot 10^3$	80	160	10,6	159
2,2	12	26,4	58,08	20	6	120	$2,4 \cdot 10^3$	280	616	14,8	296
2,4	40	96	230,4	25	11	275	$6,875 \cdot 10^3$	$1,325 \cdot 10^3$	$3,18 \cdot 10^3$	25,8	645
2,6	50	130	338	30	22	660	$1,98 \cdot 10^4$	$1,83 \cdot 10^3$	$4,758 \cdot 10^3$	52,8	$1,584 \cdot 10^3$
2,8	24	67,2	188,6	35	25	875	$3,063 \cdot 10^4$	$1,12 \cdot 10^3$	$3,136 \cdot 10^3$	63,6	$2,226 \cdot 10^3$
3,0	14	42	126	40	27	1080	$4,32 \cdot 10^4$	685	$2,055 \cdot 10^3$	67,6	$2,704 \cdot 10^3$
3,3	4	12,8	40,96	45	23	1035	$4,657 \cdot 10^4$	200	640	62,6	$2,817 \cdot 10^3$
				50	28	1400	$7 \cdot 10^4$			82,2	$4,11 \cdot 10^3$
	150	385,8	$1,004 \cdot 10^3$		150	$5,545 \cdot 10^3$	$2,208 \cdot 10^5$	X $5,545 \cdot 10^3$	$1,459 \cdot 10^4$	Y 385,8	$1,459 \cdot 10^4$

Таблиця 10 - Таблиця обчислення коефіцієнта кореляції для обробки експериментальною розверткою

$y$	$m_y$	$m_y \cdot y$	$m_y \cdot y^2$	$x$	$n_x$	$n_x \cdot x$	$n_x \cdot x^2$	Сума по рядках $y$	$\sum_y n_{xy} \cdot y_x$	Сума по рядках $x$	$\sum_x n_{xy} \cdot x_y$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1,6	5	8	12,8	5	3	15	75	55	88	5,2	26
1,8	45	81	145,8	10	19	190	$1,9 \cdot 10^3$	820	$1,476 \cdot 10^3$	35,6	356
2,0	51	102	204	15	35	525	$7,9875 \cdot 10^3$	$1,005 \cdot 10^3$	$2,01 \cdot 10^3$	69	$1,305 \cdot 10^3$
2,2	47	103,4	227,48	20	37	740	$1,48 \cdot 10^4$	$1,07 \cdot 10^3$	$2,354 \cdot 10^3$	74,8	$1,496 \cdot 10^3$
2,4	2	4,8	11,52	25	28	700	$1,75 \cdot 10^4$	60	144	55,8	$1,395 \cdot 10^3$
				30	28	840	$2,52 \cdot 10^4$			58,8	$1,764 \cdot 10^3$
	150	299,2	601,6		150	$3,01 \cdot 10^3$	$6,735 \cdot 10^4$	X $3,01 \cdot 10^3$	$6,072 \cdot 10^3$	Y 299,2	$6,072 \cdot 10^3$

Графа 10 заповнюється шляхом перемножування графі 9 на графу 1, графа 12 - шляхом перемножування значень з графі 11 на графу 5. Оскільки суми стовпців граф 10 і 12 є однаковими (вони є однією і тією ж сумою, але по різному обчисленню), то можна вважати, що обчислення є точними. На основі таблиць 9, 10 проводили визначення коефіцієнта кореляції  $r$  для побудови можливих рівнянь регресії [8], використовуючи рівняння (11 – 15):

$$\bar{x} = \frac{X}{n}; \quad \bar{y} = \frac{Y}{n}; \quad (11)$$

$$C_{xy} = \frac{\sum n_{xy} \cdot x_y}{n} - \bar{x} \cdot \bar{y}; \quad (12)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum n_x x^2}{n} - \bar{x}^2}; \quad (13)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum n_y y^2}{n} - \bar{y}^2}; \quad (14)$$

$$r = \pm \frac{C_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}. \quad (15)$$

Після відповідних обчислень для обробки розверткою з твердосплавними пластинами отримали:  $\bar{x} = 36,967$ ,  $\bar{y} = 2,572$ ,  $C_{xy} = 2,188$ ,  $\sigma_x = 10,268$ ,  $\sigma_y = 0,28$ ,  $r = 0,761$ . Для обробки експериментальною розверткою:  $\bar{x} = 20,067$ ,  $\bar{y} = 1,995$ ,  $C_{xy} = 0,446$ ,  $\sigma_x = 6,806$ ,  $\sigma_y = 0,225$ ,  $r = 0,291$ .

Отримані дані засвідчують наявності тісних прямолінійних кореляційних зв'язків. Отже, рівняння регресії у загальному вигляді буде мати вигляд:

$$\bar{y}_x - \bar{y} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (\bar{x} - \bar{x}). \quad (16)$$

Підставивши відповідні значення і після перетворень отримали рівняння для розвірчування розверткою з твердосплавними пластинами (17) і експериментальною розверткою (18).

$$\bar{y}_x = 0,02 \cdot x + 1,833; \quad (17)$$

$$\bar{y}_x = 9,62 \cdot 10^{-3} \cdot x + 1,802. \quad (18)$$

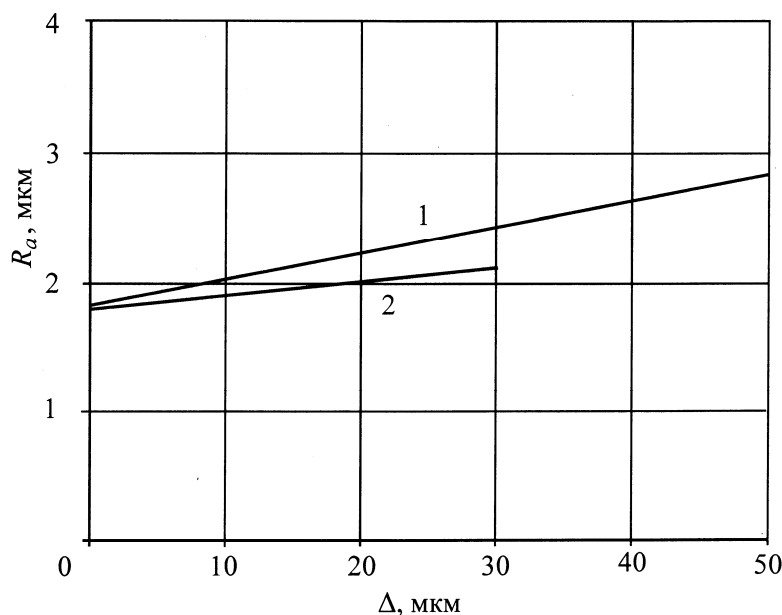


Рисунок 2 – Графік залежності чистоти обробки від розбивки отвору при розвірчуванні отворів в шарошках для встановлення твердосплавних зубків: 1 – розвертка з напаяними пластинами із сплаву ВК6ОМ; 2 – експериментальною монолітною твердосплавною розверткою

Остаточні рівняння зв'язку між розбивкою і чистотою обробки відповідно для першого і другого випадку:

$$R_a = 0,02 \cdot \Delta + 1,833; \quad (19)$$

$$R_a = 9,62 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta + 1,802. \quad (20)$$

Отримані рівняння ілюструються графіком (рис. 2).



Наявність кореляційного зв'язку між параметром шорсткості  $R_a$  і розбивкою отвору  $\Delta$  вказує на те, що для отримання високої чистоти поверхні необхідно створювати такі умови, які б забезпечували мінімальну розбивку отворів.

Отже, відносна стабільна шорсткість і мінімальна розбивка отворів забезпечується використанням прогресивного різального інструменту. Порівняльні експериментальні дослідження показали перспективність заміни розверток з твердосплавними пластинами на монолітні твердосплавні. Це дає можливість рекомендувати їх до впровадження у виробництво шарошкових доліт.

В подальшому актуальним є дослідження впливу фізико-механічних властивостей долотних сталей і технологічної спадковості на надійність з'єднання „зубок-шарошка”.

### Література

1. Крылов К.А., Стрельцова О.А. Повышение долговечности и эффективности буровых долот. –М.: Недра, 1983 -206с.
2. Вплив глибини цементованого шару шарошки на точність форми оброблюваного отвору під запресовку зубків / Б.О.Борушак, Ю.Д.Петрина, Л.О.Борушак, В.Т.Ілик // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ –Серія: Нафтогазопромислове обладнання. -Івано-Франківськ. –1998. – Випуск 36 (Том 4). –С. 100-108.
3. Петрина Ю.Д., Яким Р.С., Пасинович Т.Б. Підвищення надійності з'єднання „шарошка-зубок” в трьохшарошкових бурових долотах // Анотації Міжнародної науково-технічної конференції „Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці” „ІФТУНГ-40” –Івано-Франківськ, 16-20 квітня 2007 р. -С.279
4. Электронная микроскопия в металловедении: Справ. изд. / А.В.Смирнова, Г.А.Кокорин, С.М.Полонская и др. –М.: Металлургия, 1985. -192с.
5. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. –К.: Техніка, 1975. -168с.
6. Справочник инструментальщика / И.А.Ординарцев, Г.В.Филипов, А.Н.Шевченко и др.; / Под общ. ред. И.А.Ординарцева. –Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1987.-846с.
7. Солонин И.С. Математическая статистика в технологи машиностроения. –М.: Машиностроение, 1960 -176с.
8. Петрина Ю.Д., Яким Р.С. Основи наукових досліджень для інженерів. –Івано-Франківськ: Факел, 2004. -153с.

Одержано 10.10.2007 р.